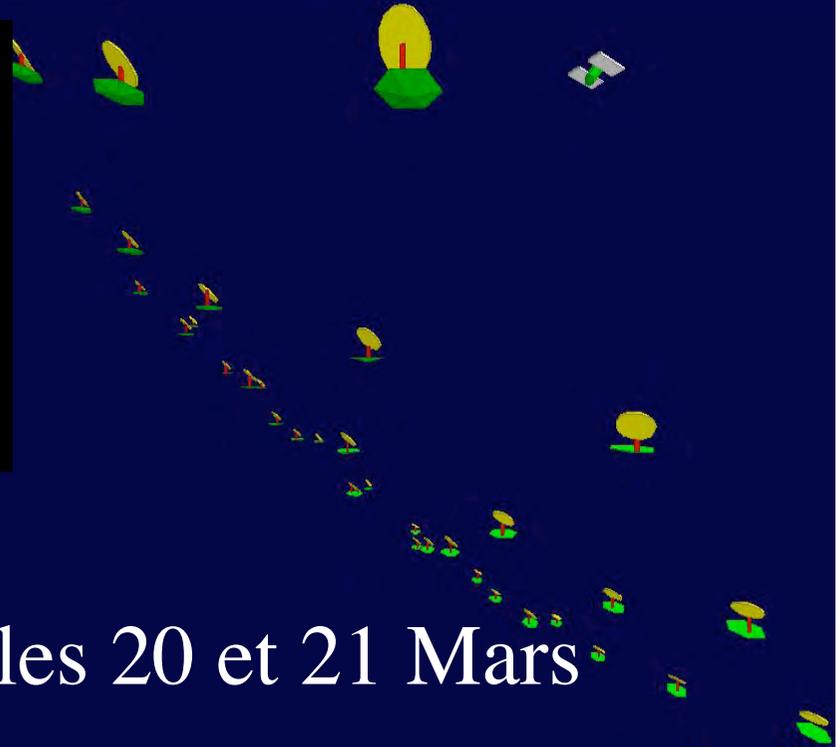
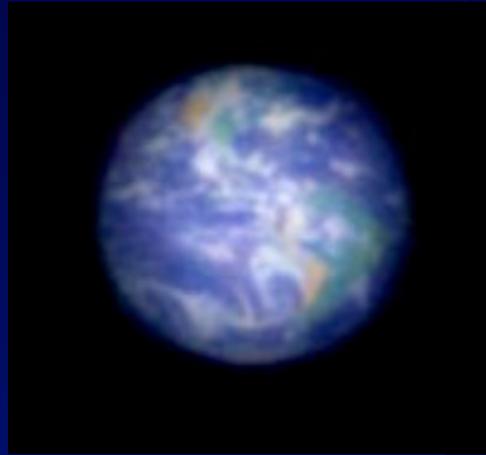


# Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Cours à Paris les Mardis
- 3 cours & séminaires à Nice les 20 et 21 Mars
- Détails sur [www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html](http://www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html)
- les fichiers des projections y seront affichés

# Calendrier [\(www.college-de-france.fr/chaires/chaire11/lise.html\)](http://www.college-de-france.fr/chaires/chaire11/lise.html)

- 23 Janvier « Quatre voies évolutives... »
  - Séminaire: O.Chesneau: "Novae, étoiles symbiotiques et nébuleuses planétaire observées avec les techniques de haute résolution angulaire »
- 30 Janvier **Construction d'un hypertélescope au sol ( suite)**
  - Séminaire: R.Soummer: » Détection d'exo-planètes par imagerie directe depuis le sol: résultats actuels et futurs projets »
- 6 Février **Construction d'un hypertélescope au sol ( suite)**
  - Séminaire: M.Guillon: « Pression de radiation et forces de cohésion optiques: application au Laser Trapped Mirror »
- **13, 20, 27 Février les cours et séminaires n'auront pas lieu ( vacances scolaires)**
- 6 Mars **Essai d'interféromètre en orbite géostationnaire (suite)**
  - Séminaire : F.Martinache "Interférométrie a 1 telescope: a la poursuite des objets de faible masse"
- 13 Mars
  - Séminaire : sera précisé ultérieurement
- **3 cours et séminaires sont aussi prévus a Nice les 20 et 21 Mars**

Aujourd'hui:

Quatre voies évolutives pour les télescopes,  
interféromètres et hypertélescopes ( suite)

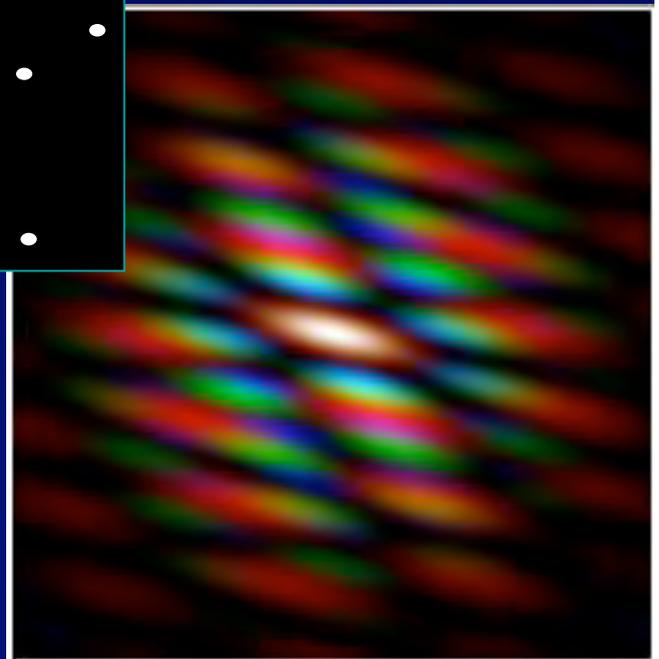
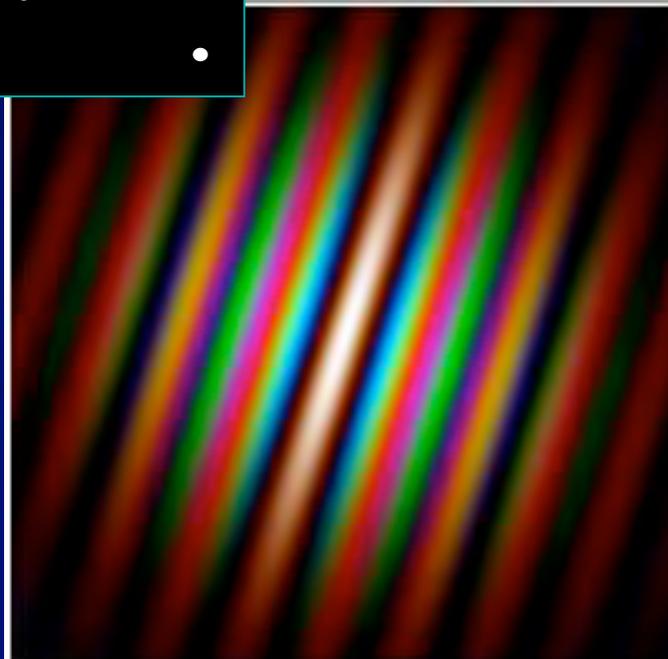
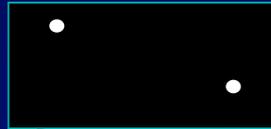
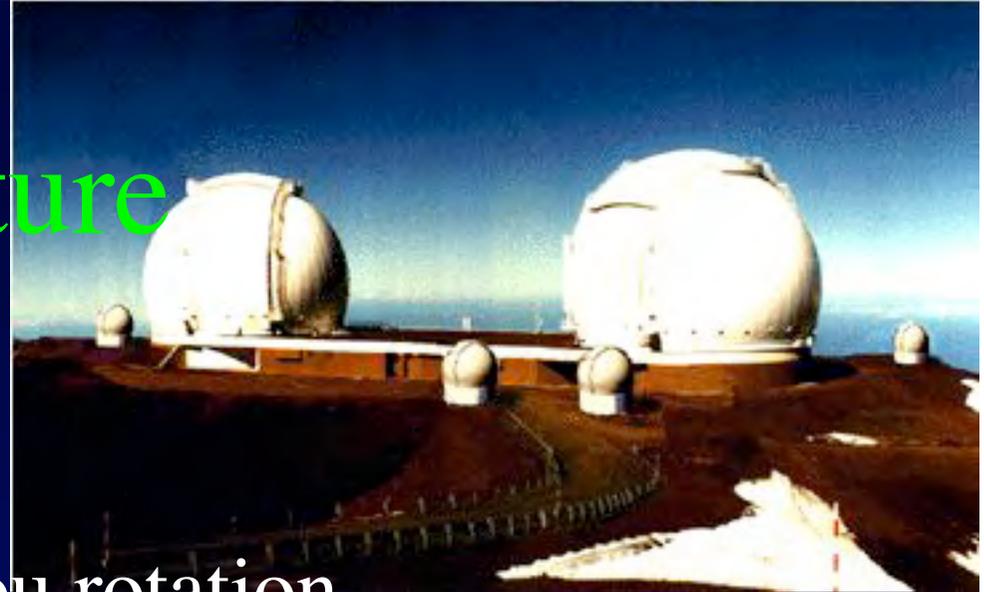
Séminaire à 18h: Olivier Chesneau

( Observatoire de la Cote d'Azur) "**Novae, étoiles  
symbiotiques et nébuleuses planétaire observées  
avec les techniques de haute résolution angulaire**"



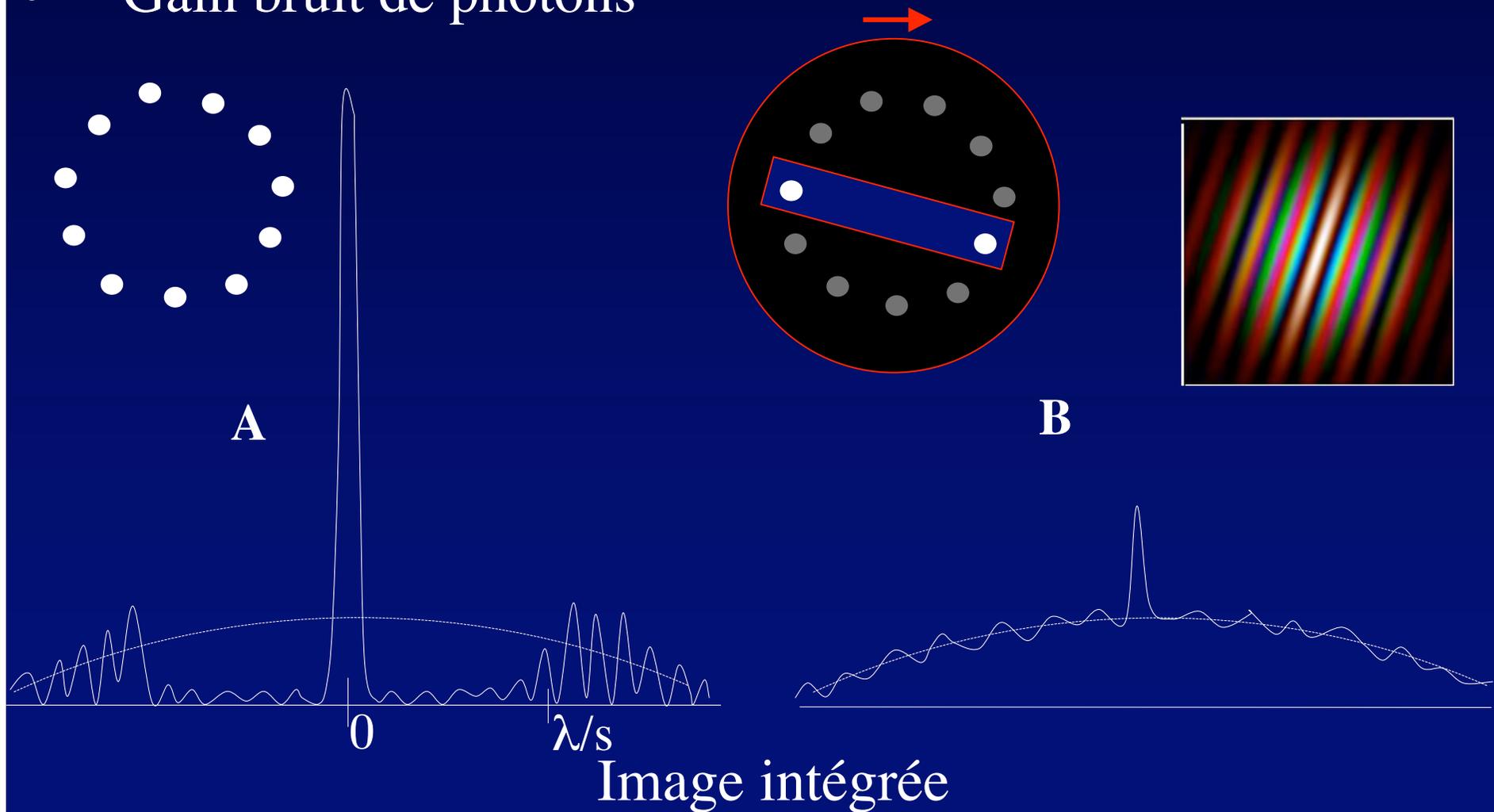
# Synthèse d'ouverture

- Paires ou triplets
- Déformation de la base ou rotation
- Image par synthèse de Fourier



# Comparaison en masquant des ouvertures

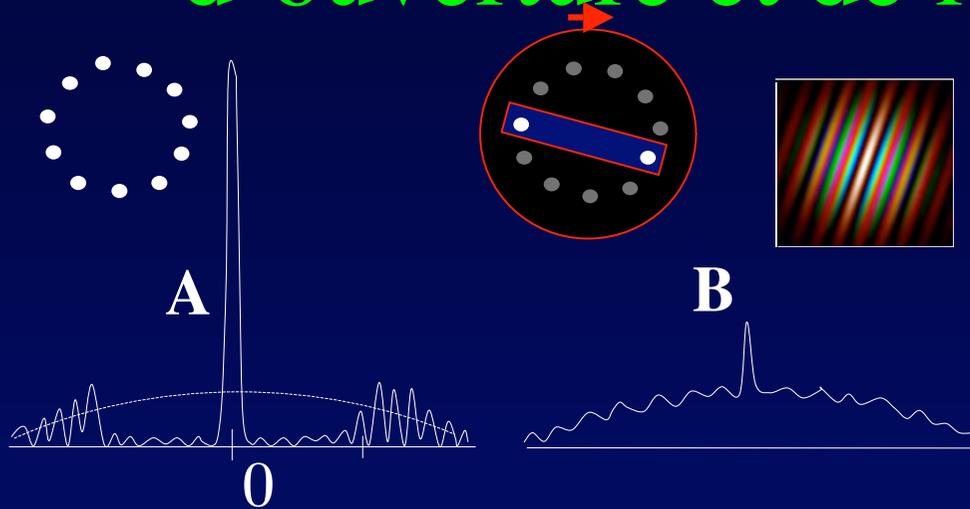
- Gain pic/fond
- Gain bruit de photons



# Signal et bruit de photons

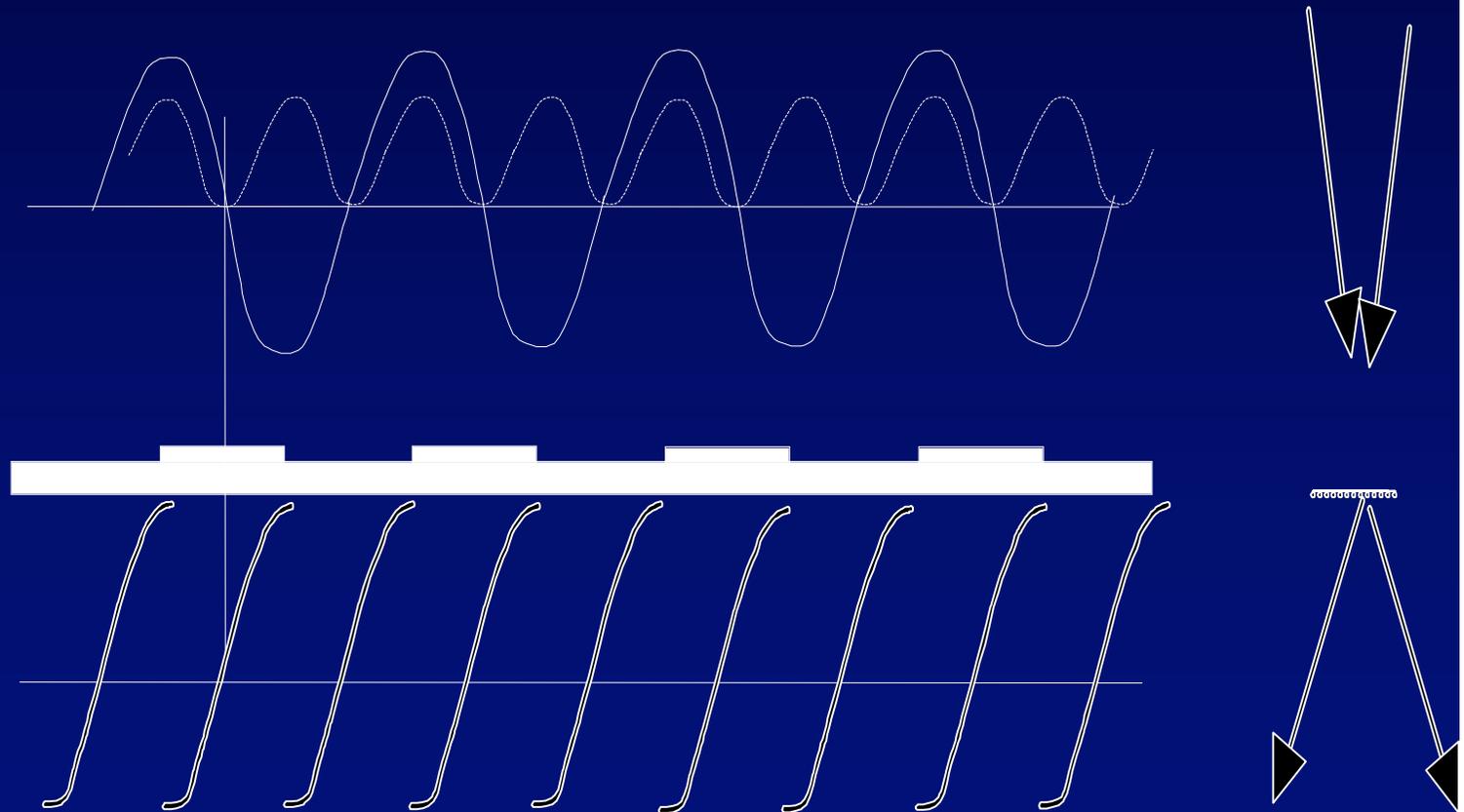
- Hypertélescope :  $\text{signal/bruit}_h = \text{sqr} (N P_t / kd)$
- Synthèse d'ouverture:  $\text{signal/bruit}_p = 2 \text{sqr} (P_t / N)$
- Gain en dynamique de l'hypertélescope  
 $= N / \{2 \text{sqr} (kd)\}$

# Sensibilité comparée de la synthèse d'ouverture et de l'hypertélescope



- Gain en dynamique ( les ouvertures étant cophasées):  
$$N / \{2 \text{ sqr} ( kd)\}$$
  - Exemple: Un hypertélescope ayant  $N=1000$  ouvertures de 1,4m, avec  $k_d = 0,01$ , **détecte des compagnons 5 000 fois plus faibles** que la synthèse d'ouverture avec une paire de télescopes de 32m
  - À surface collectrice égale 2000 m<sup>2</sup>, et même durée d'observation

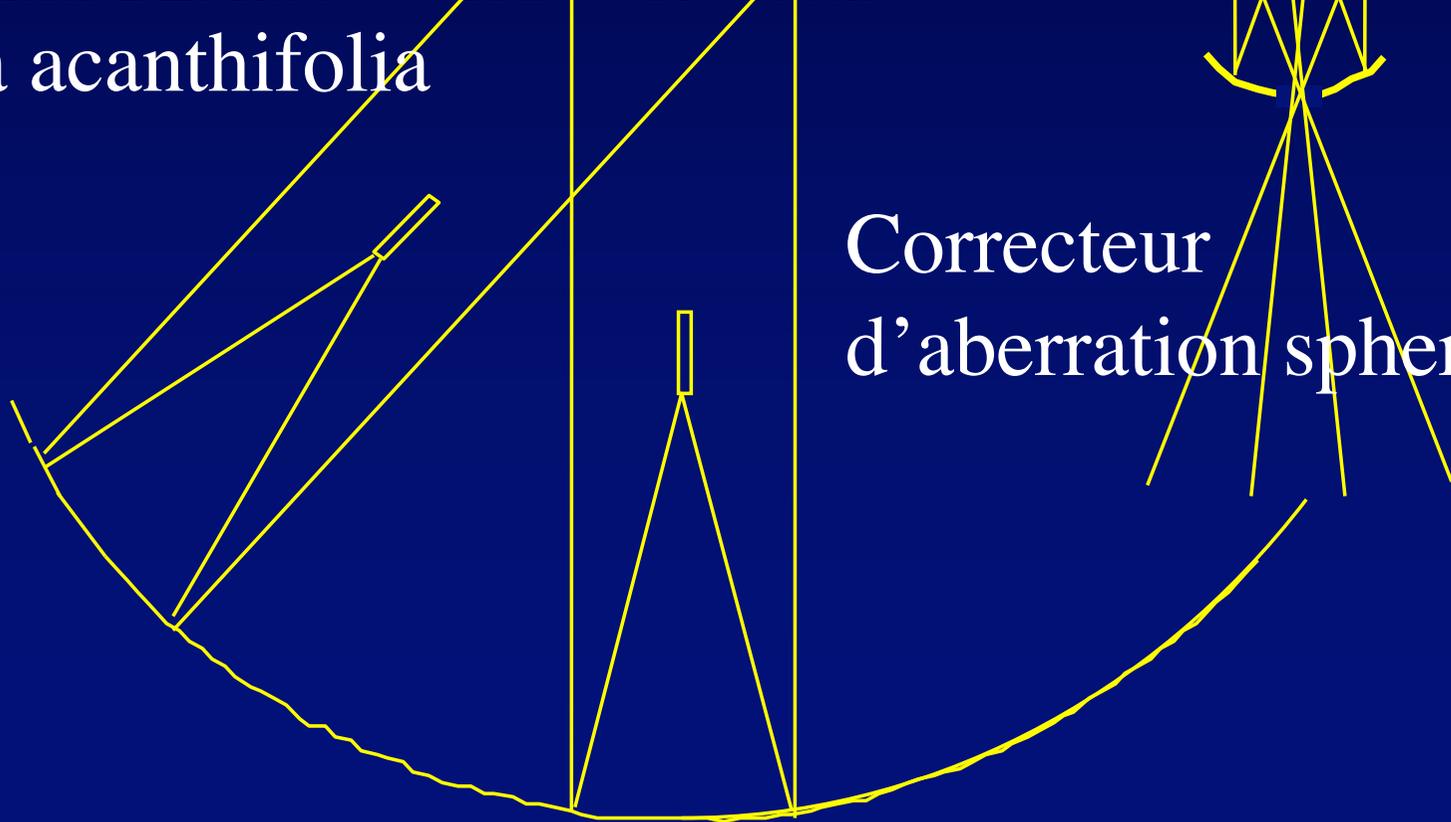
# Comparer aussi la coronographie





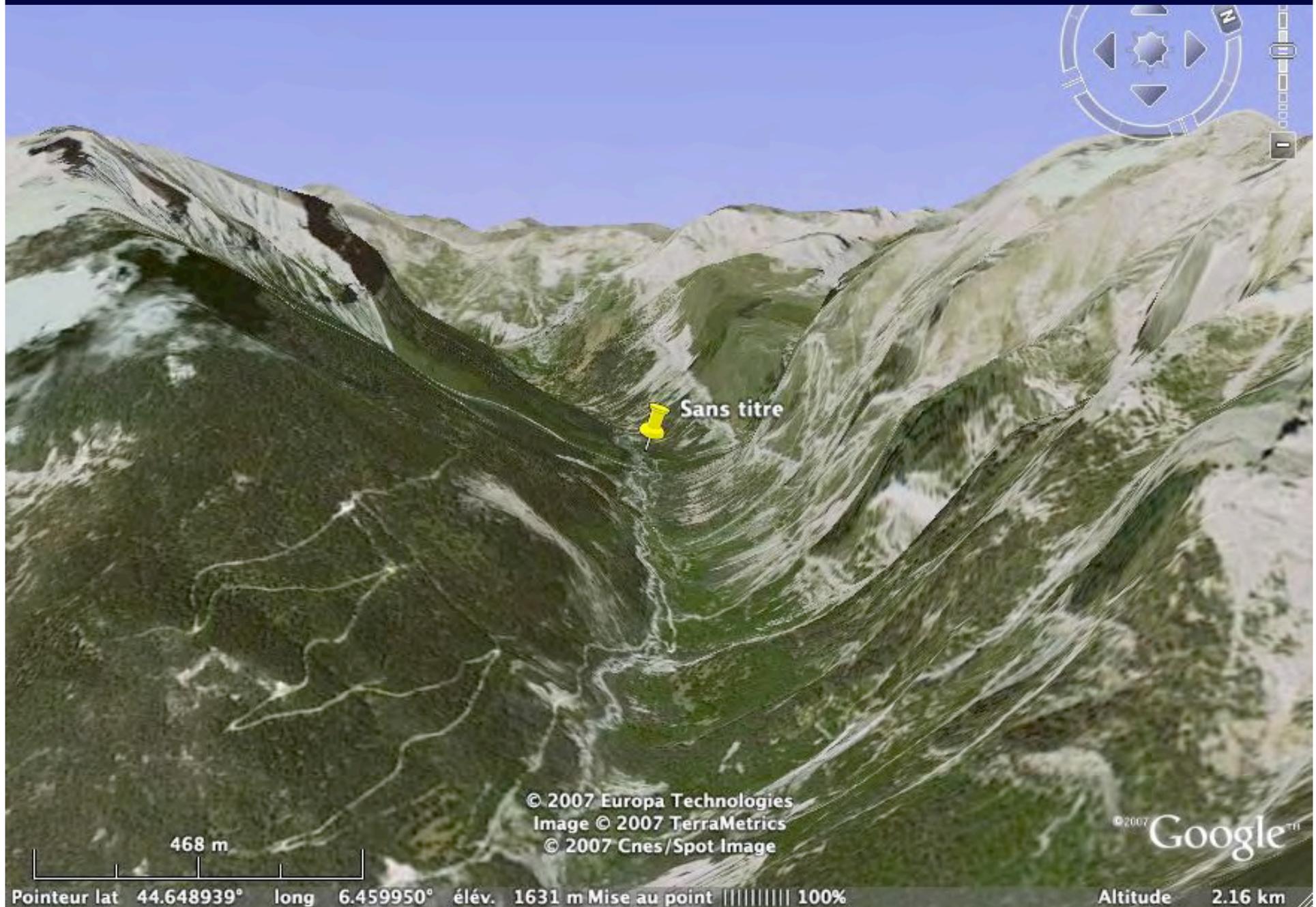
CARLINA  
hypertélescope  
au sol

Carlina acanthifolia

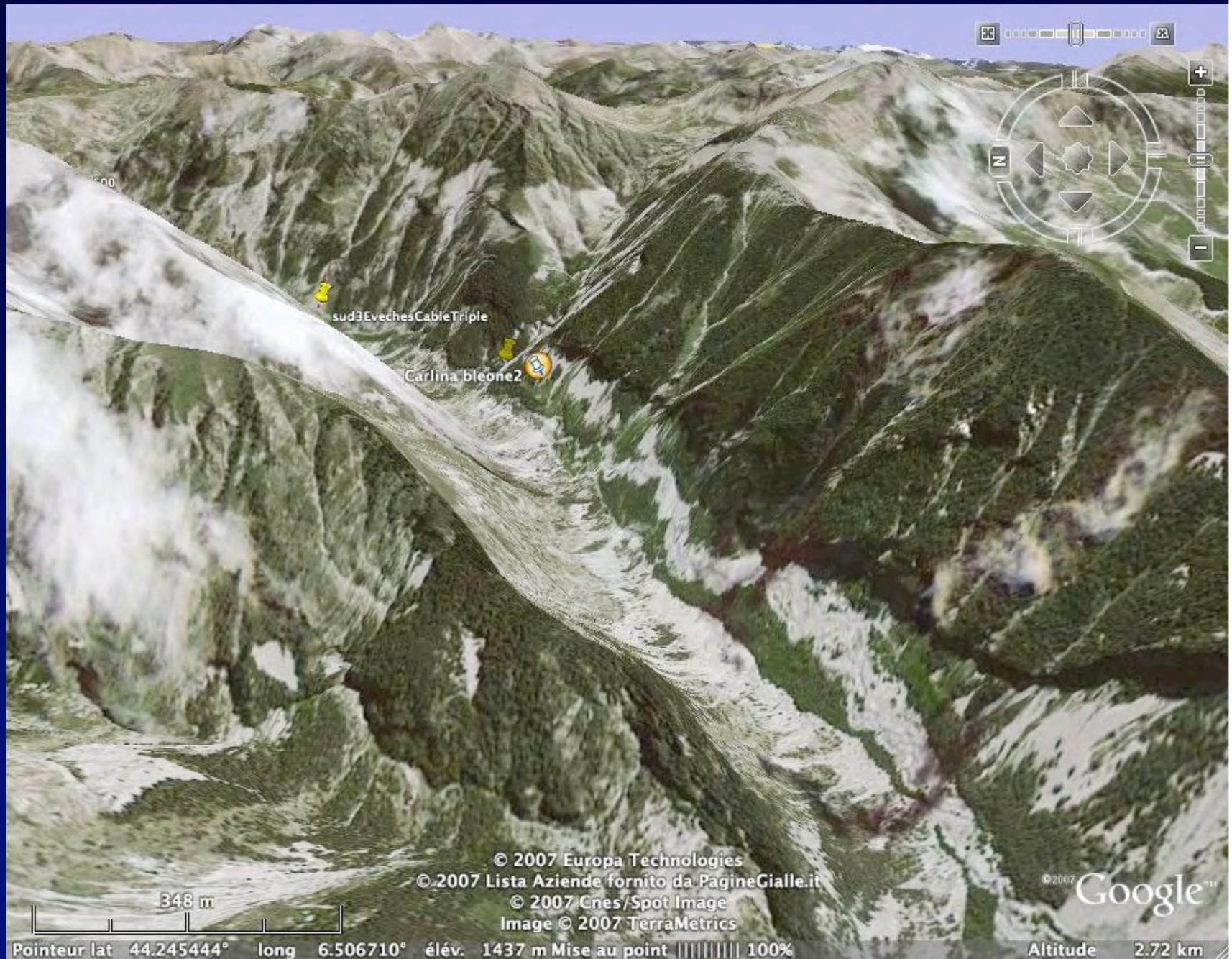


Correcteur  
d'aberration sphérique

# Alpes du Sud - vallon du Rabioux



# Massif des Trois Evêchés



# Queyras



# Vallouise



VallouiseAmont

© 2007 Cnes/Spot Image  
© 2007 Europa Technologies

© 2007 Google™

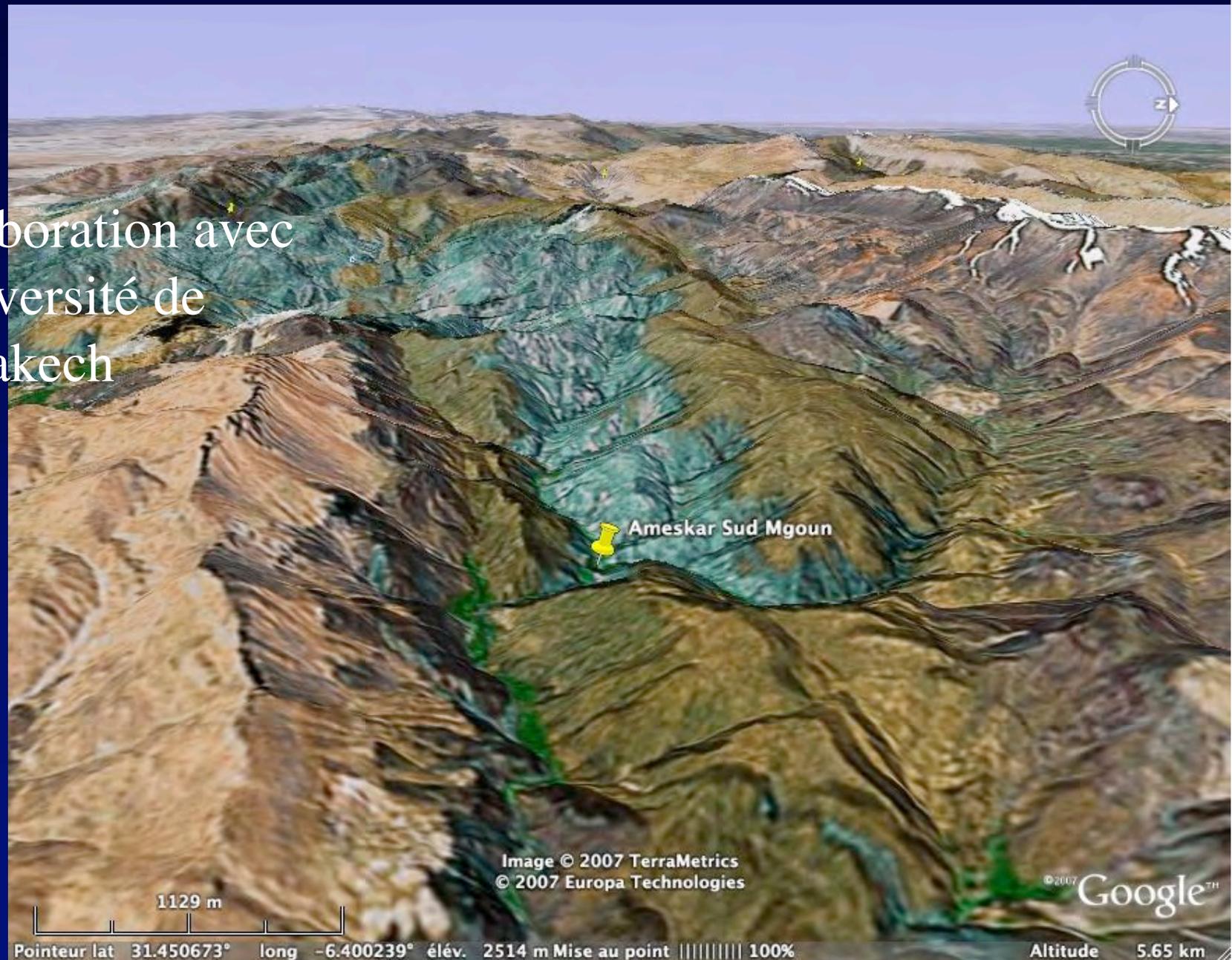
98 m

Pointeur lat 44.836638° long 6.435686° élév. 1364 m Mise au point ||||| 100%

Altitude 1.75 km

# Haut Atlas Marocain

- Collaboration avec l'Université de Marrakech



# La Palma, Canaries

## « Caldera del Taburiente »

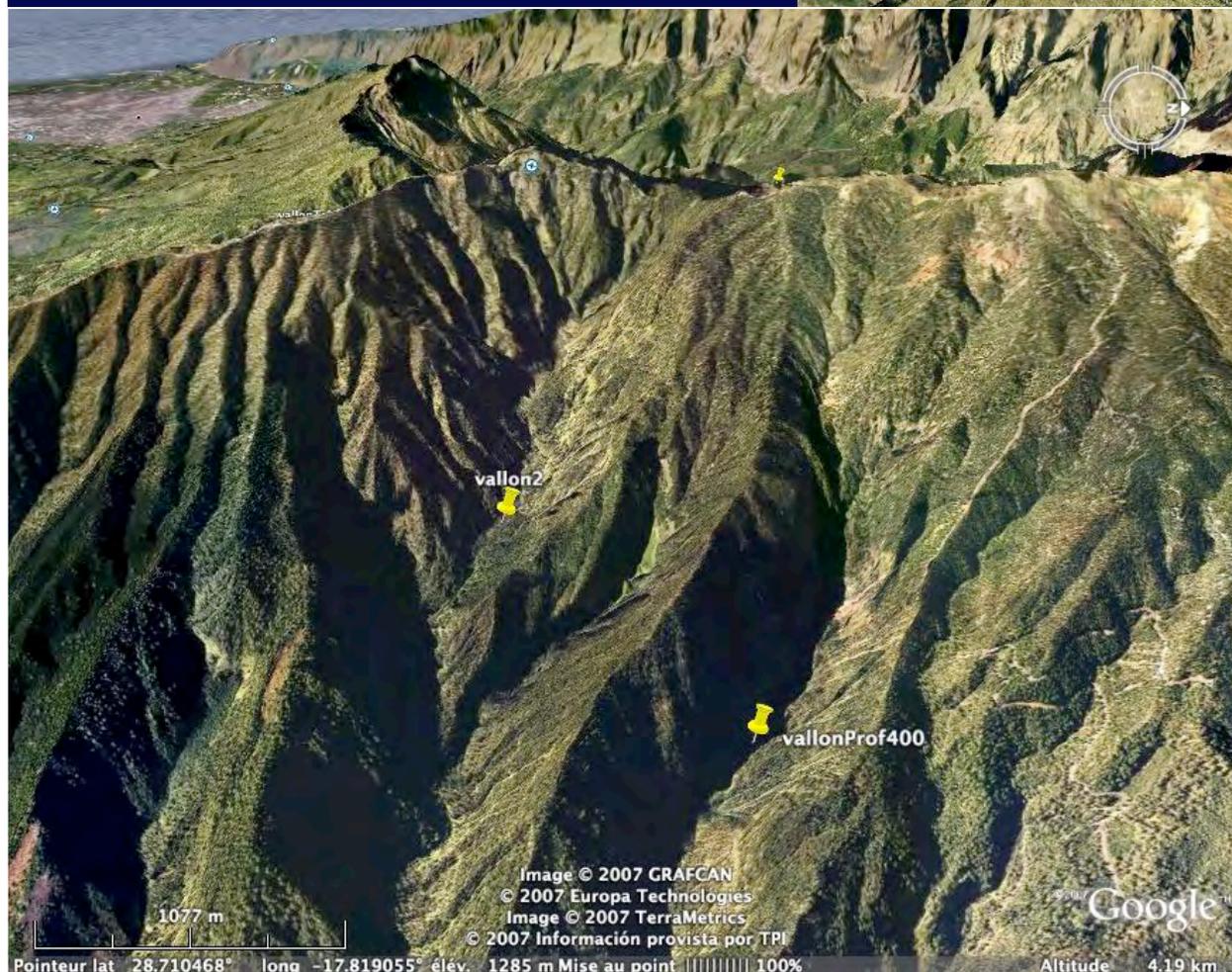


Image © 2007 GRAFCAN  
© 2007 Europa Technologies  
Image © 2007 TerraMetrics  
07 Información provista por TPI  
78 m Mise au point 100%  
Altitude 7.06 km

- Vent nocturne suffit pour cerf-volant ?
- Vent à 12 000m particulièrement faible 15m/S

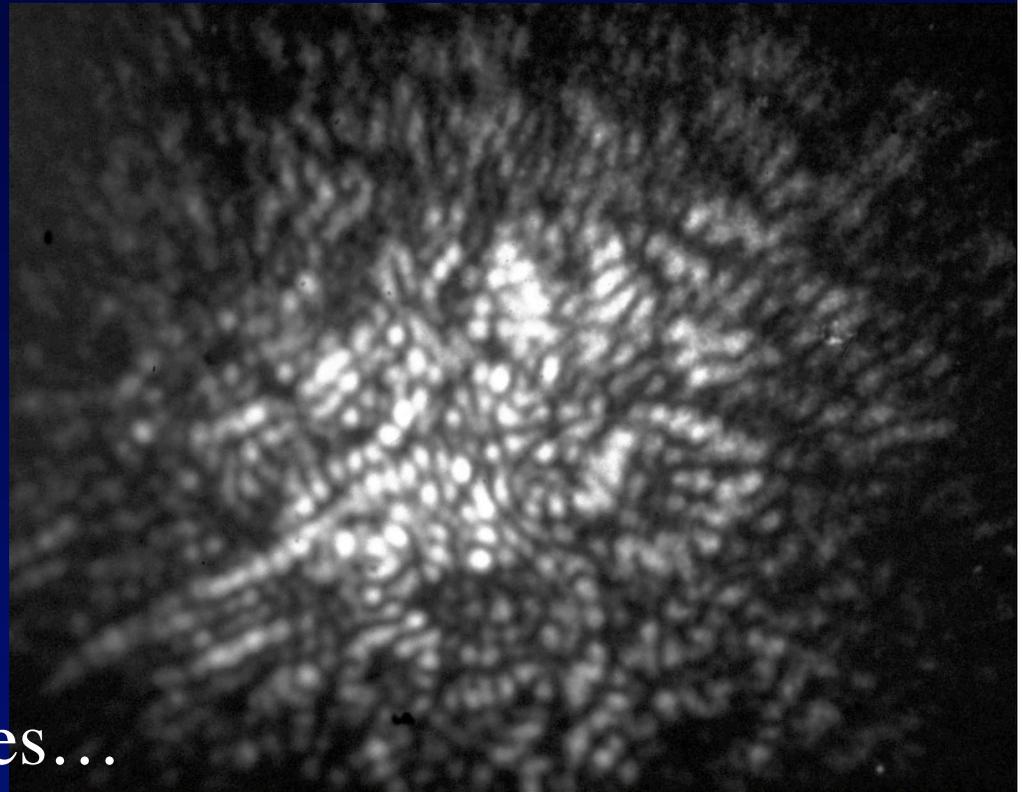
# Nord du Thibet

- Nombreux sites...
- ...peu accessibles ?



# La turbulence:

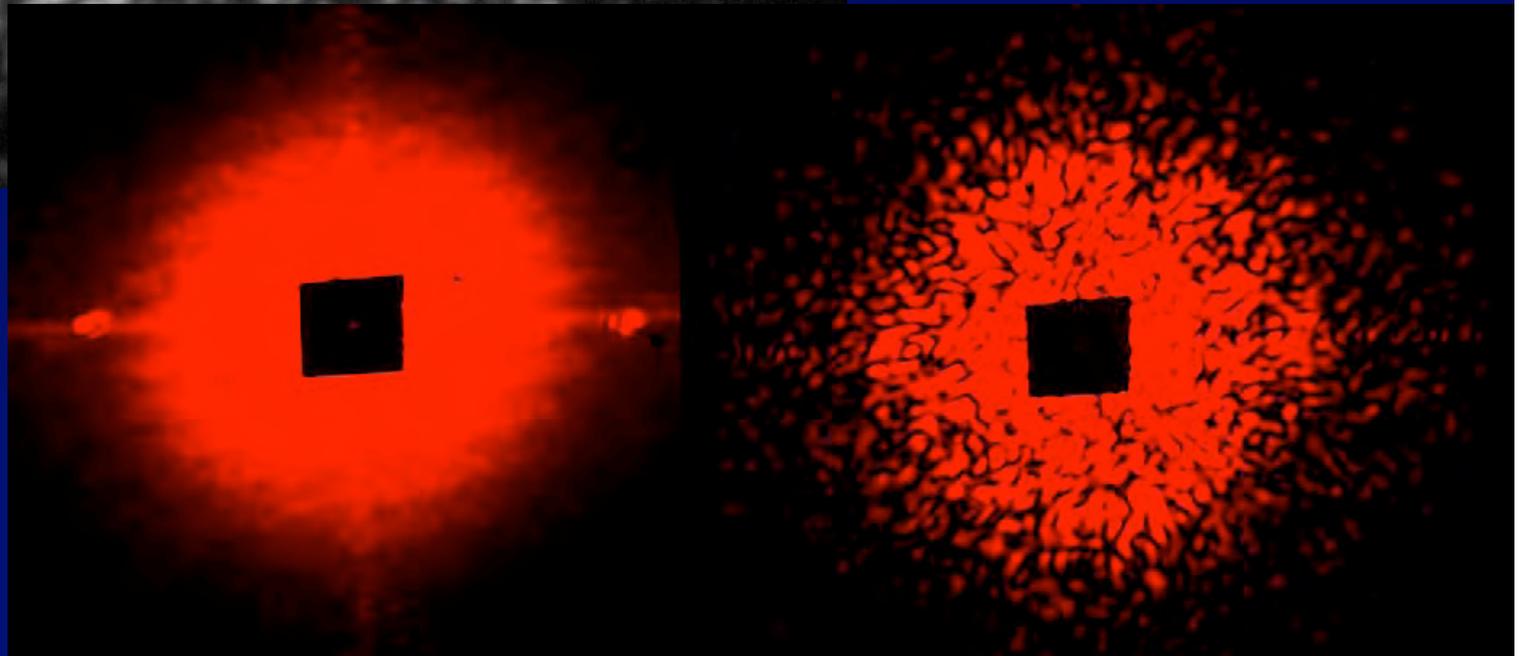
## l'accepter ou la corriger ?



- Interférométrie des tavelures...
- ... ou optique adaptative ?
  - exploitant une étoile
  - ou une étoile guide laser

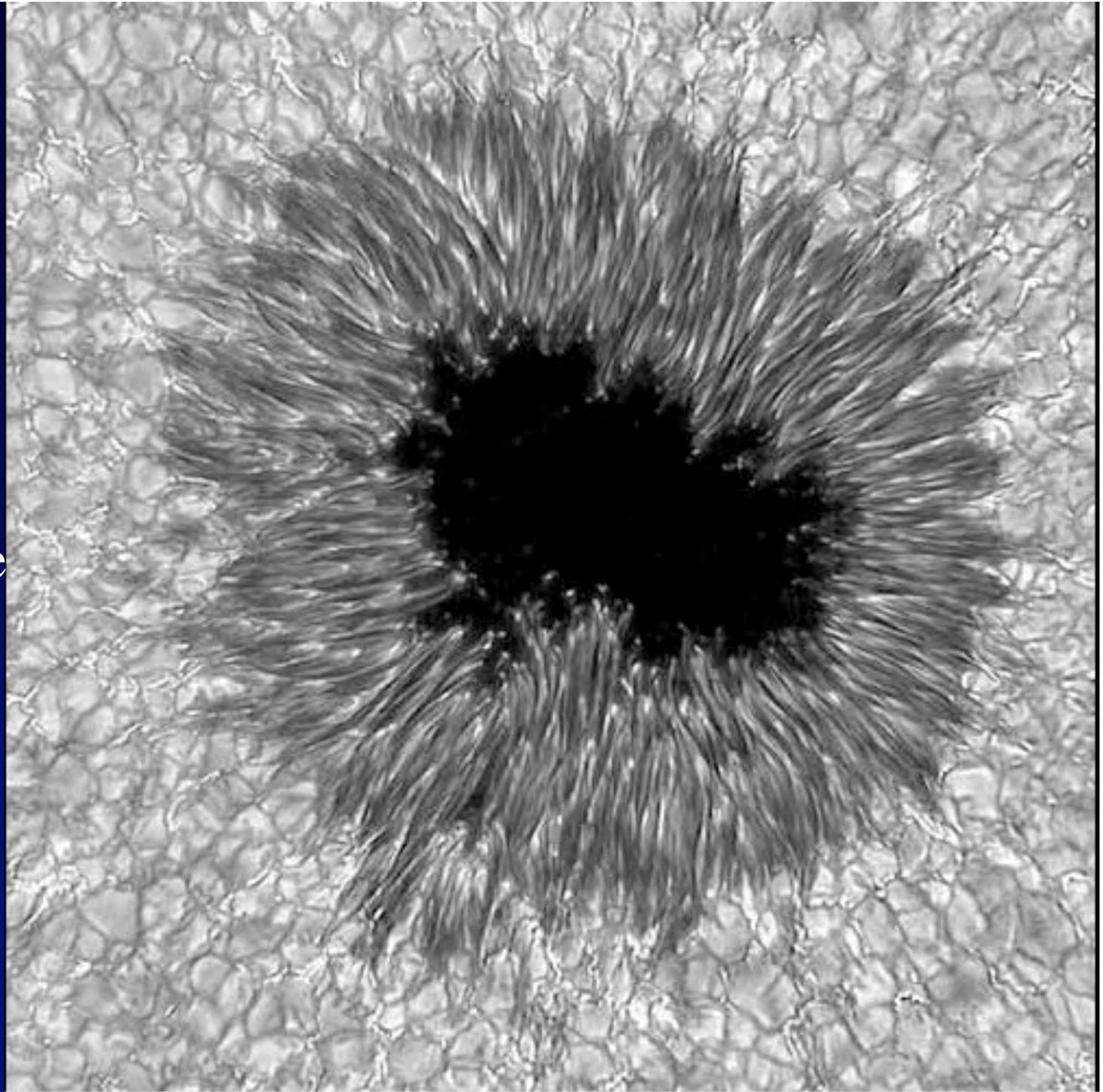
# Turbulence? Interférométrie des tavelures

- poses

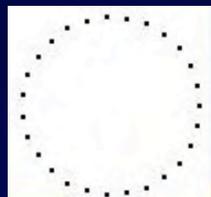


# Tache solaire

Imagerie par  
Interférométrie  
des tavelures  
( Woeger 2006)

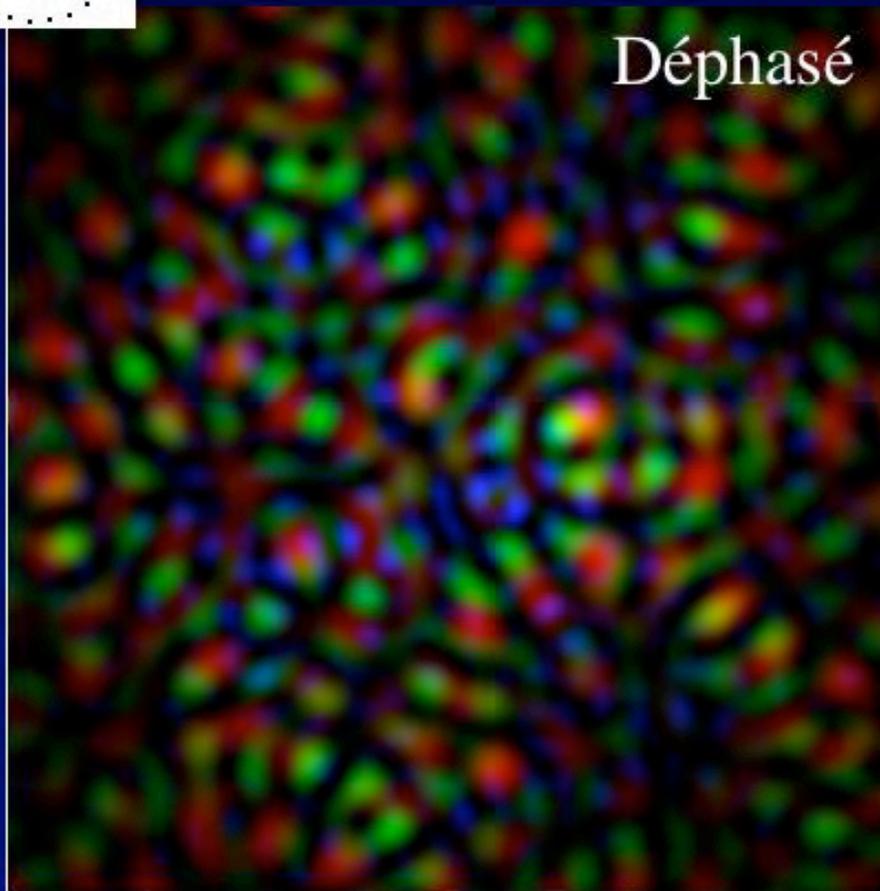


# Mettre en phase les ouvertures

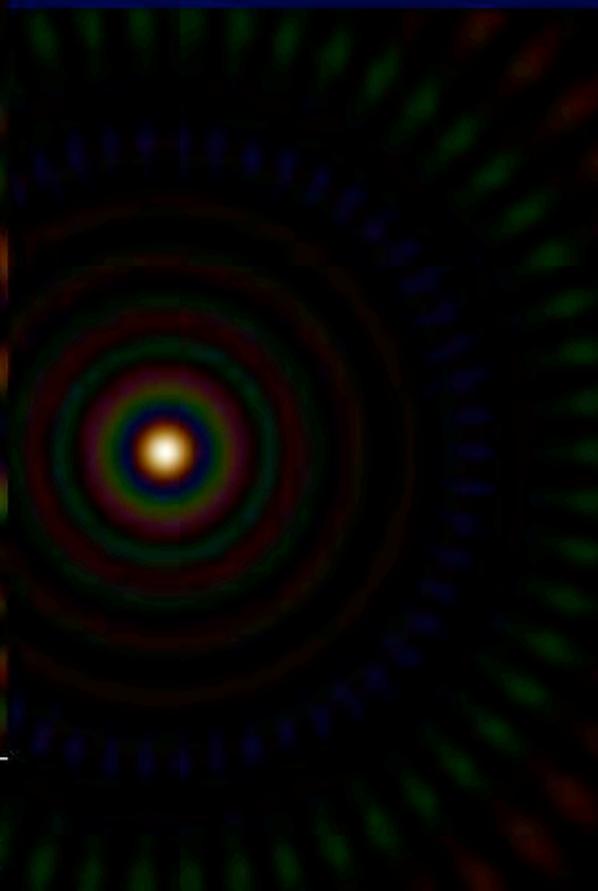


27 ouvertures en cercle

Déphasé



En phase



# Comment mettre en phase ?

- En analysant l'onde d'une étoile brillante...
- Ou la lumière rétrodiffusée d'un laser ?
- Dans l'espace: plus facile

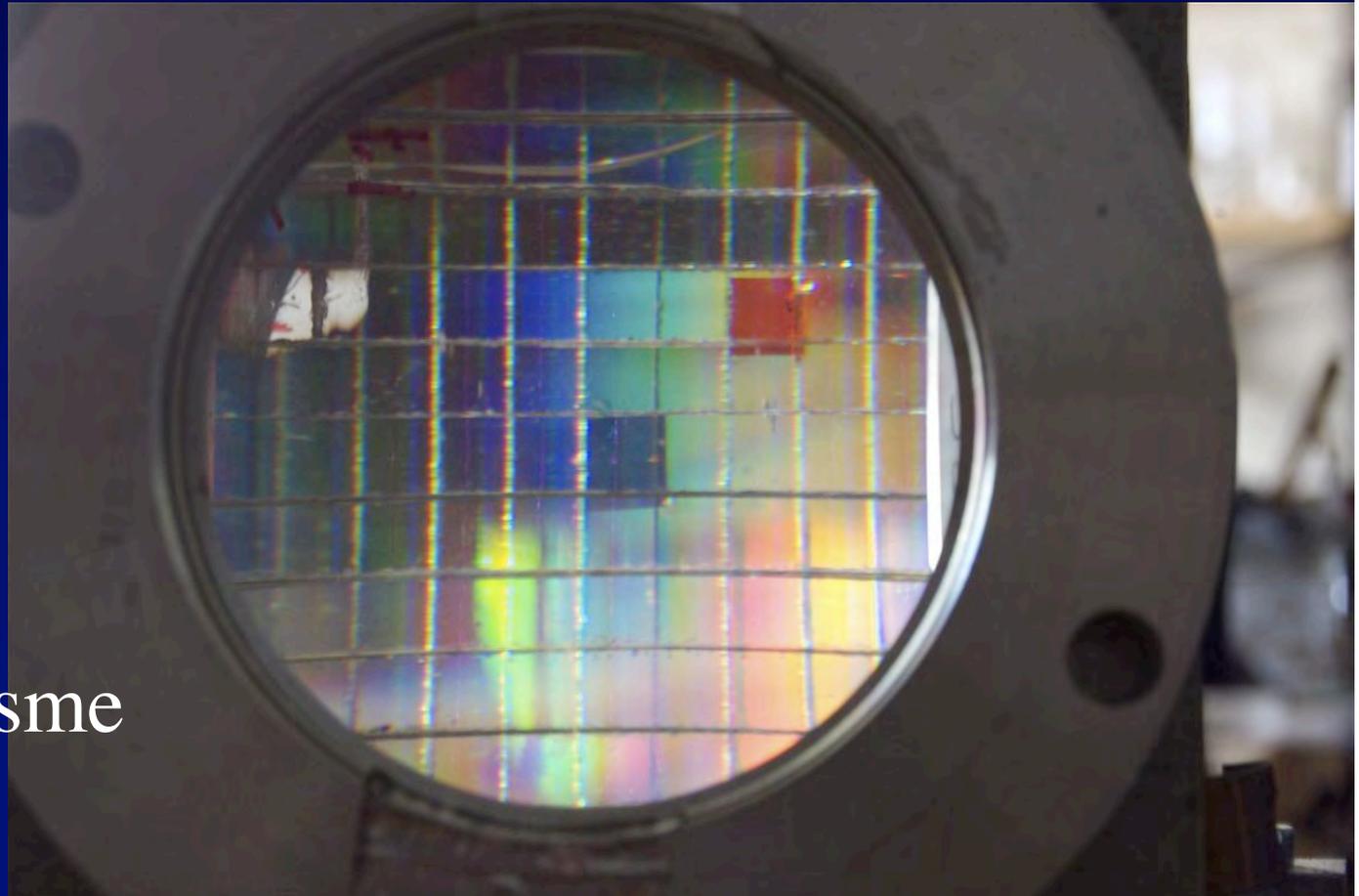
# Mettre en phase avec une étoile brillante

- Cartographier l'onde... chaque milliseconde
- Les senseurs de pente ( type Shack-Hartmann), et les senseurs de courbure ( type Roddier) ne conviennent pas pour les ouvertures diluées
- Mais : « senseur de piston » (Labeyrie 199, Borkowski et al, 2000, Martinache )
  - Exploite l'image multi-spectrale
  - Généralise les « franges dispersées » de Fizeau
  - Prototype à l'essai en laboratoire

# Senseur de piston à tavelures dispersées

( Borkowski et al., 2005)

- Erreurs mesurées à partir d'une spectro-image



Multi-prisme

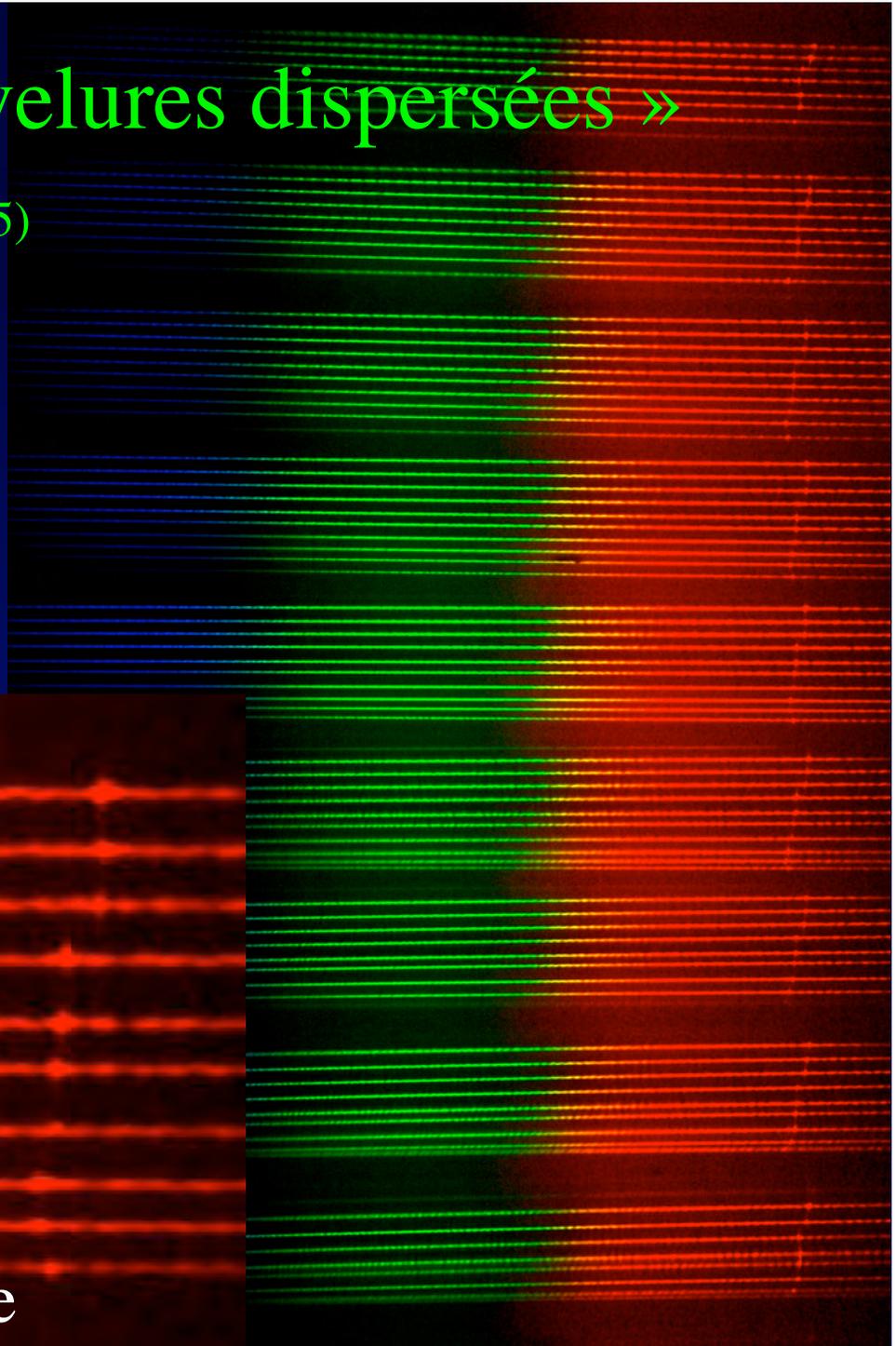
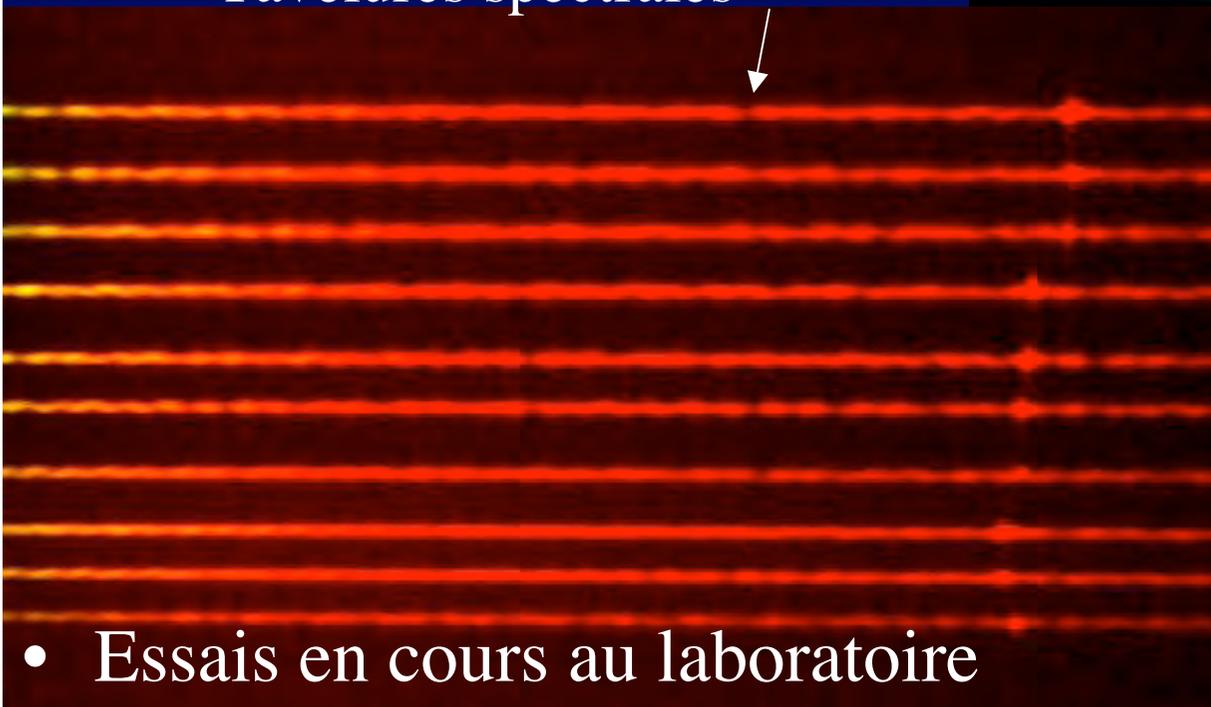
# Senseur de piston à « tavelures dispersées »

( Labeyrie, Borkowski, Martinache, 2005)



9+1 ouvertures  
non redondantes

Tavelures spectrales

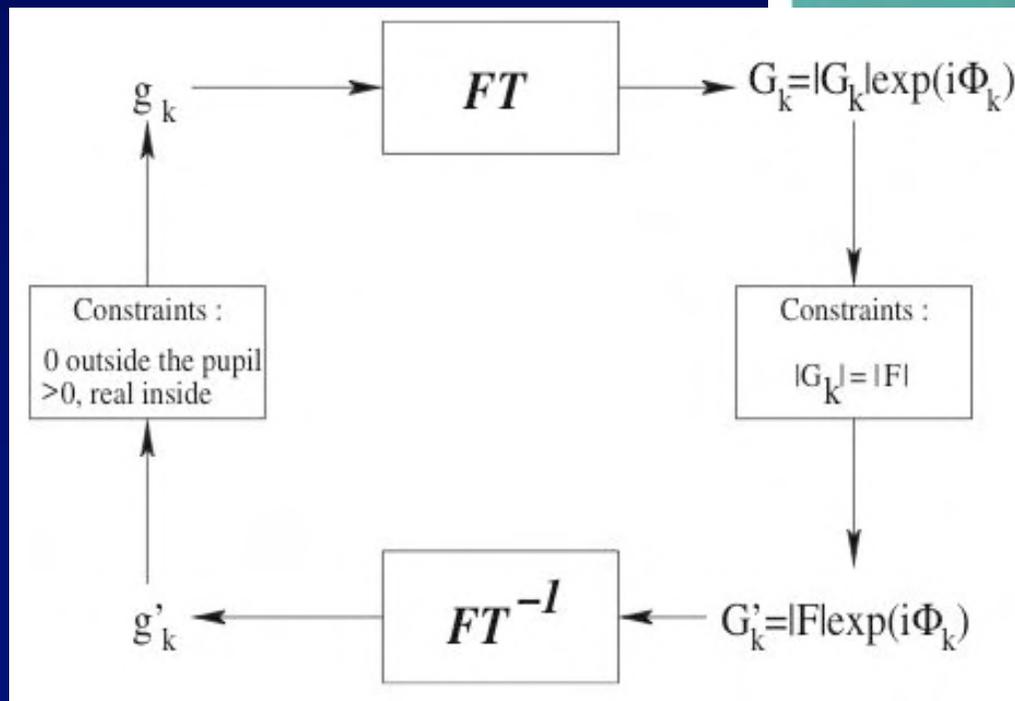
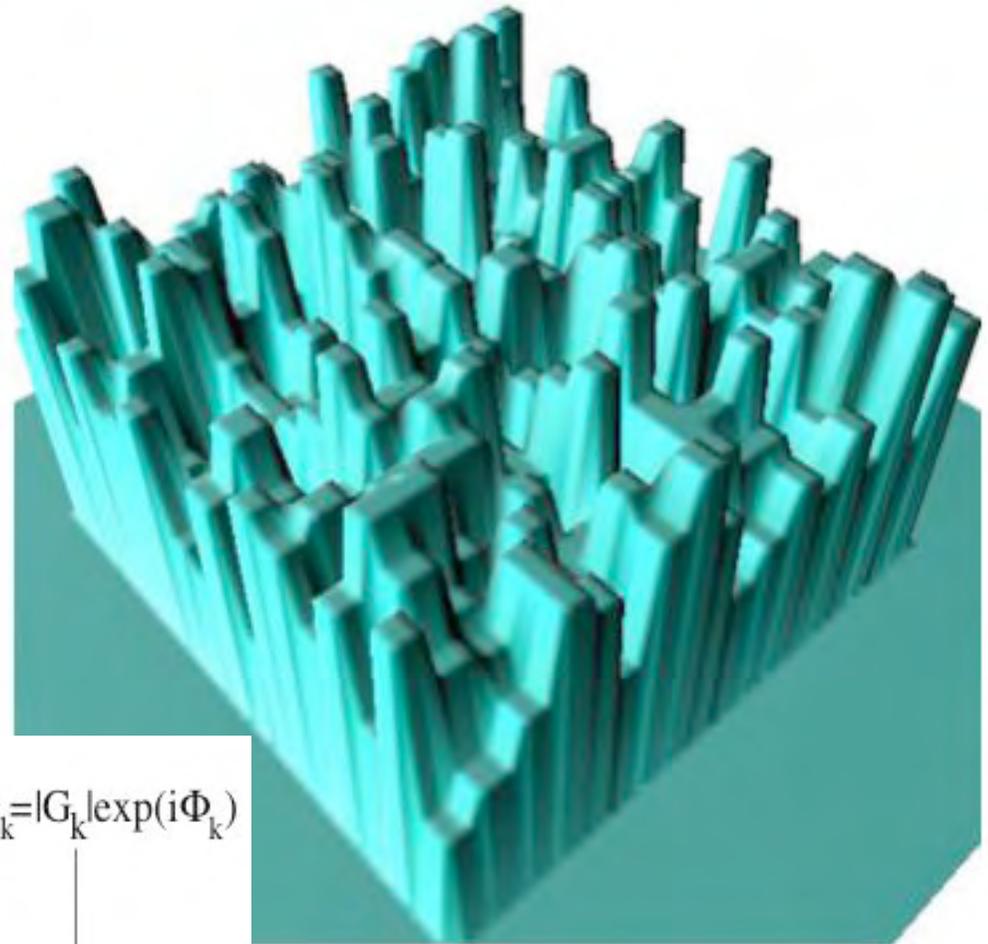


- Essais en cours au laboratoire

# Onde mesurée par tavelures dispersées

(simulation numérique par Martinache 2004)

- > il faut 200 photons/ouverture avec 32 canaux spectraux



En l'absence d'étoile brillante:  
Peut-on utiliser une  
étoile guide laser ?

- Variante possible pour  
hypertélescopes ?



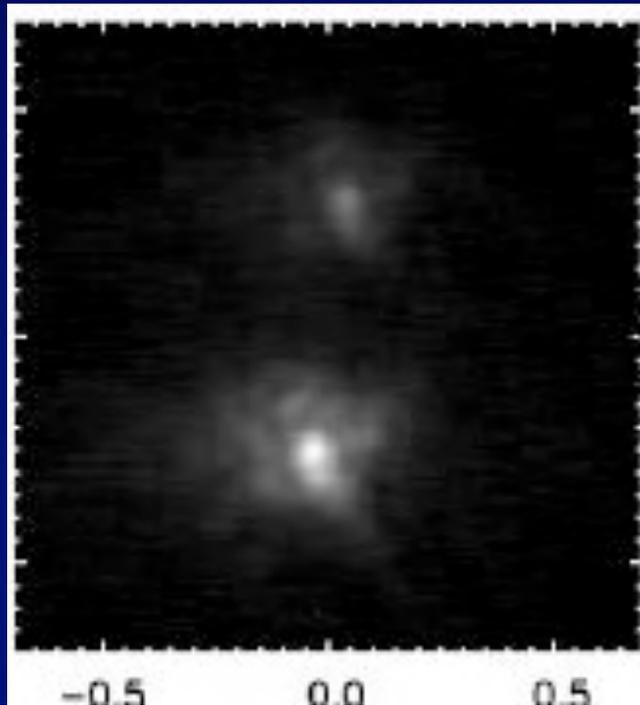
*The Lick Observatory Laser Guide Star Adaptive Optics system in operation on July 22, 2003. The*

# Etoile Laser

« Until the early 1990s, the Starfire Optical Range .... was one of the U.S. Air Force's most closely guarded secrets.... »

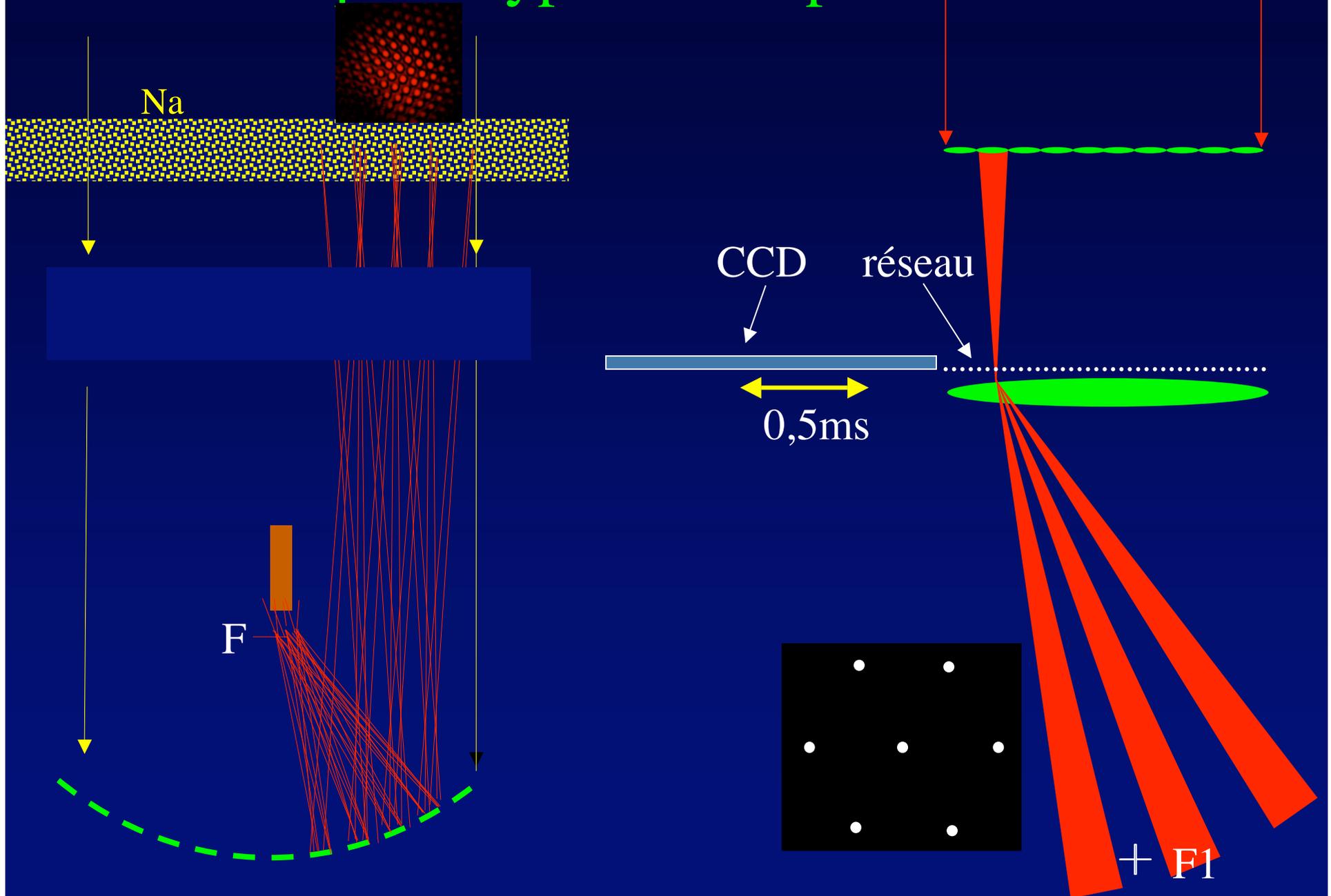
<http://138.238.143.191/astronomy/Chaisson/AT405/HTML/AT40503.htm>.

- fonctionne en infra-rouge  
au Keck ( Van Dam et al., 2006)

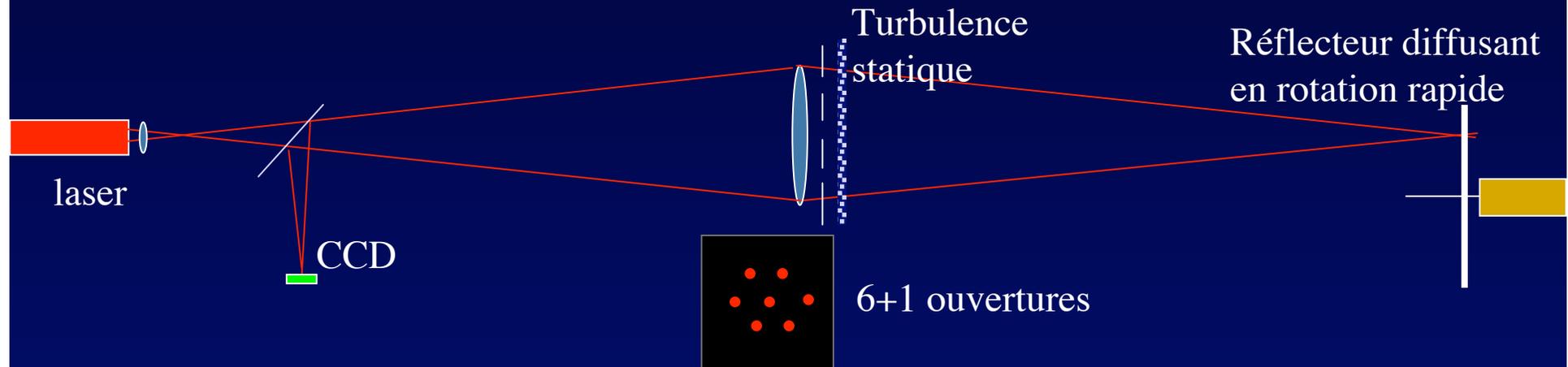


Noyau galactique double

# Etoile laser pour hypertélescope ?



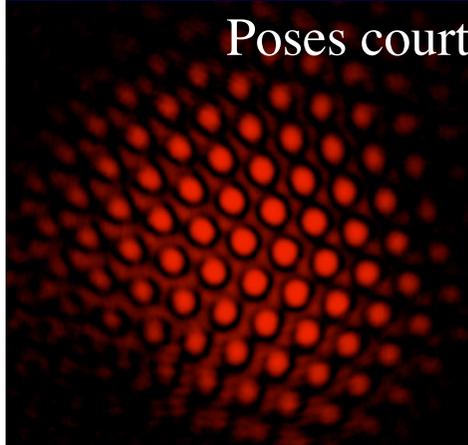
# Simulateur d'étoile guide laser pour ouverture diluée



- Retour rendu incohérent par diffuseur tournant
- Compléter avec ouvertures additionnelles

# Simulateur d'étoile guide laser pour ouverture diluée

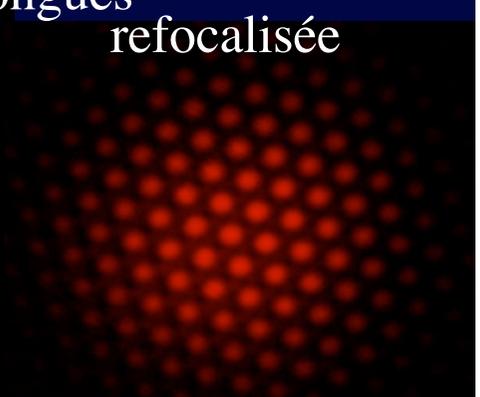
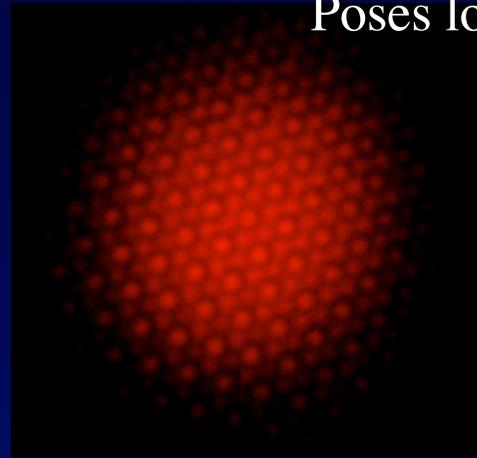
Poses courtes sans turbulence



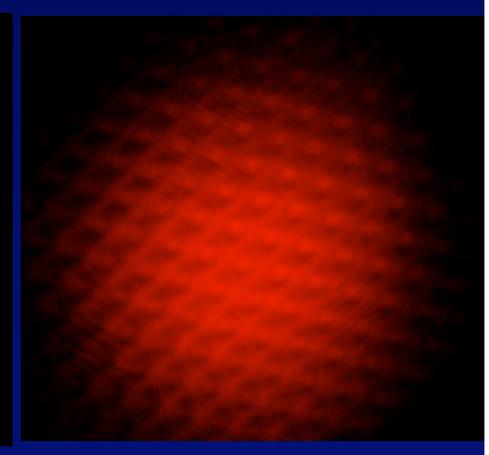
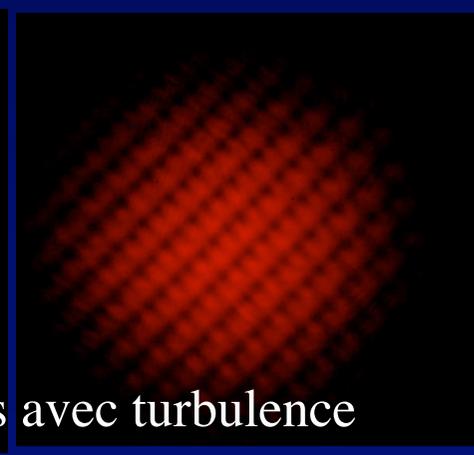
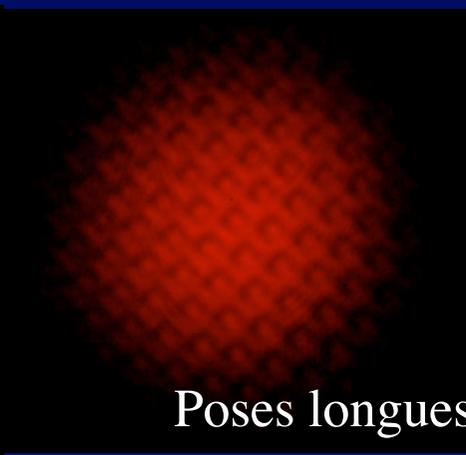
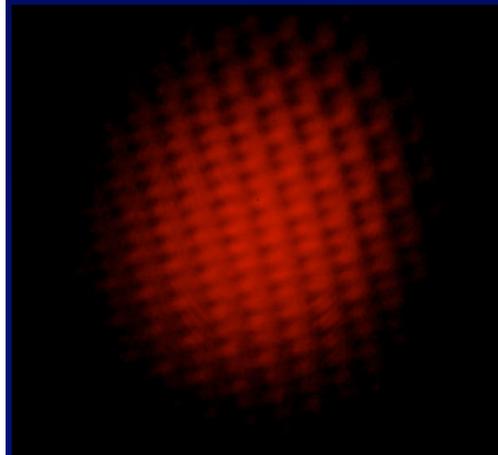
Poses courtes avec turbulence



Poses longues  
refocalisée



Poses longues avec turbulence

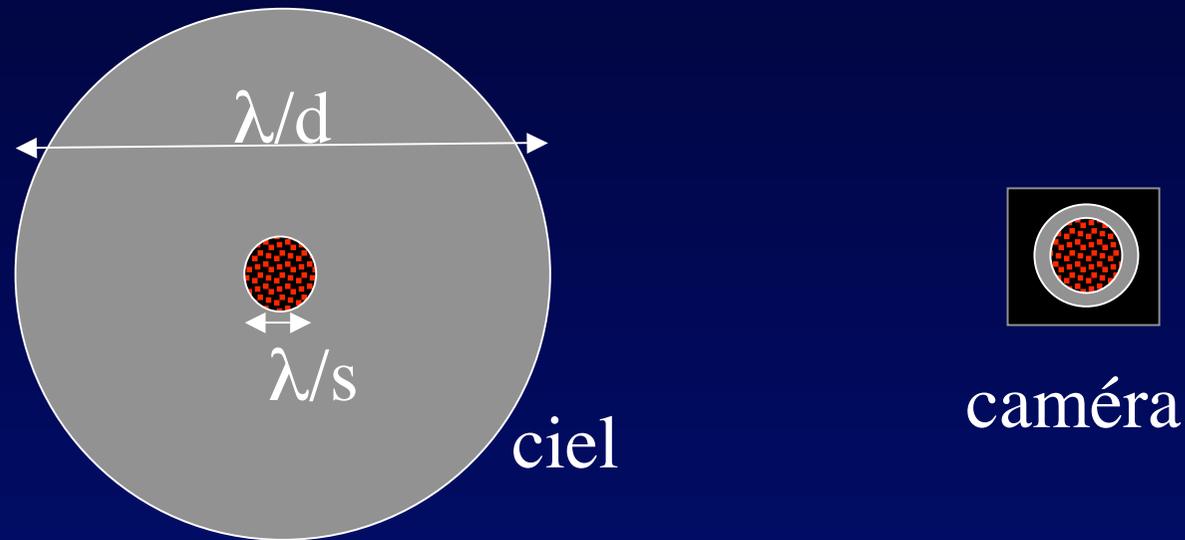


- L'information sur les déphasages semble récupérable
- Préciser la théorie

# Hypertélescope et laser: points à préciser

- Vérifier la détermination des phases
- Exploiter plusieurs strates dans la couche de sodium ?
- Evaluer la puissance laser nécessaire
- Déborder du champ isoplanétique ?

# Exploiter le champ « dilué » des hypertélescopes

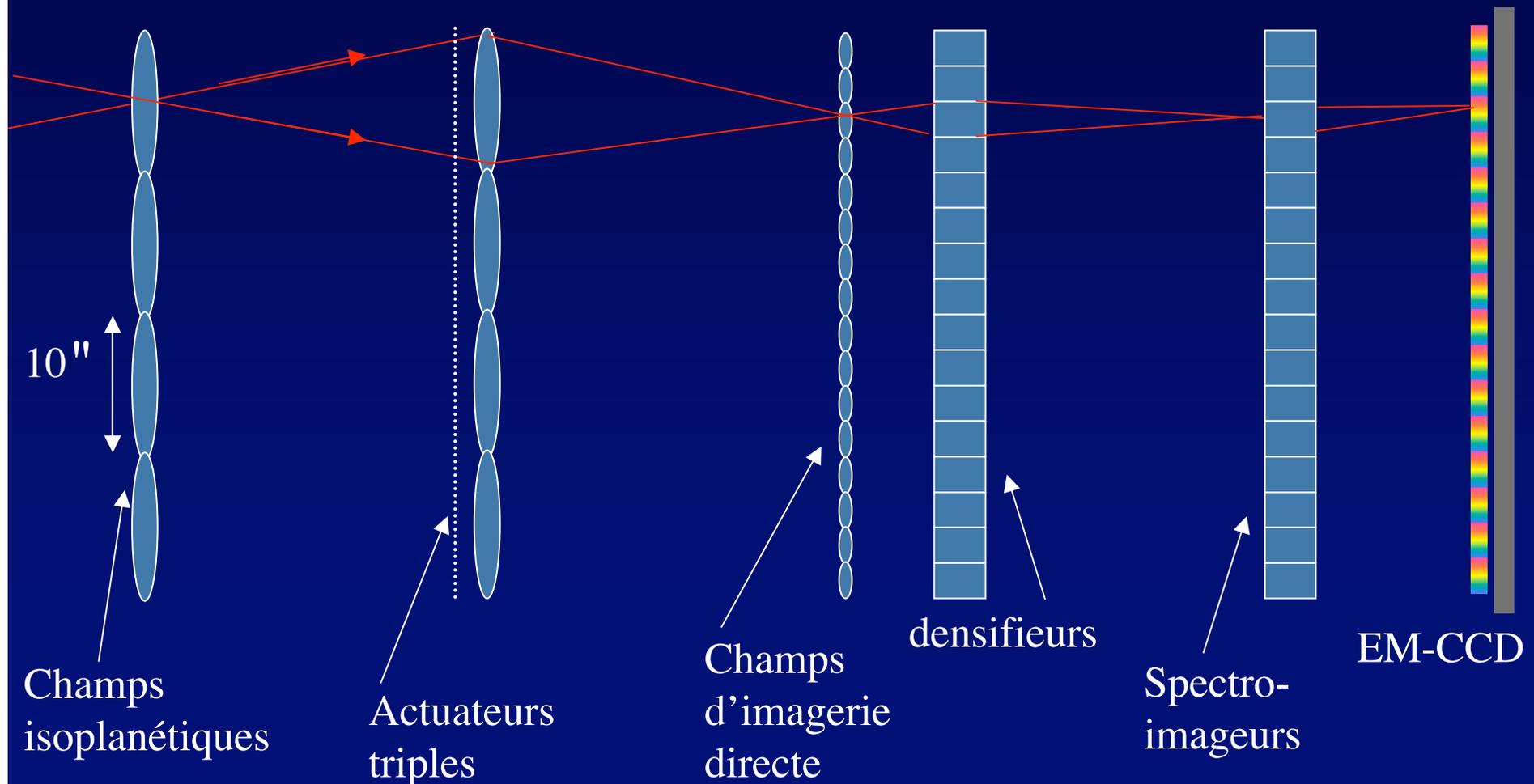


- image directe obtenue dans une petite partie de l'enveloppe diffractive des sous-ouvertures...
- .... mais des enveloppes adjacentes sont exploitables en parallèle

# Hypertélescope:

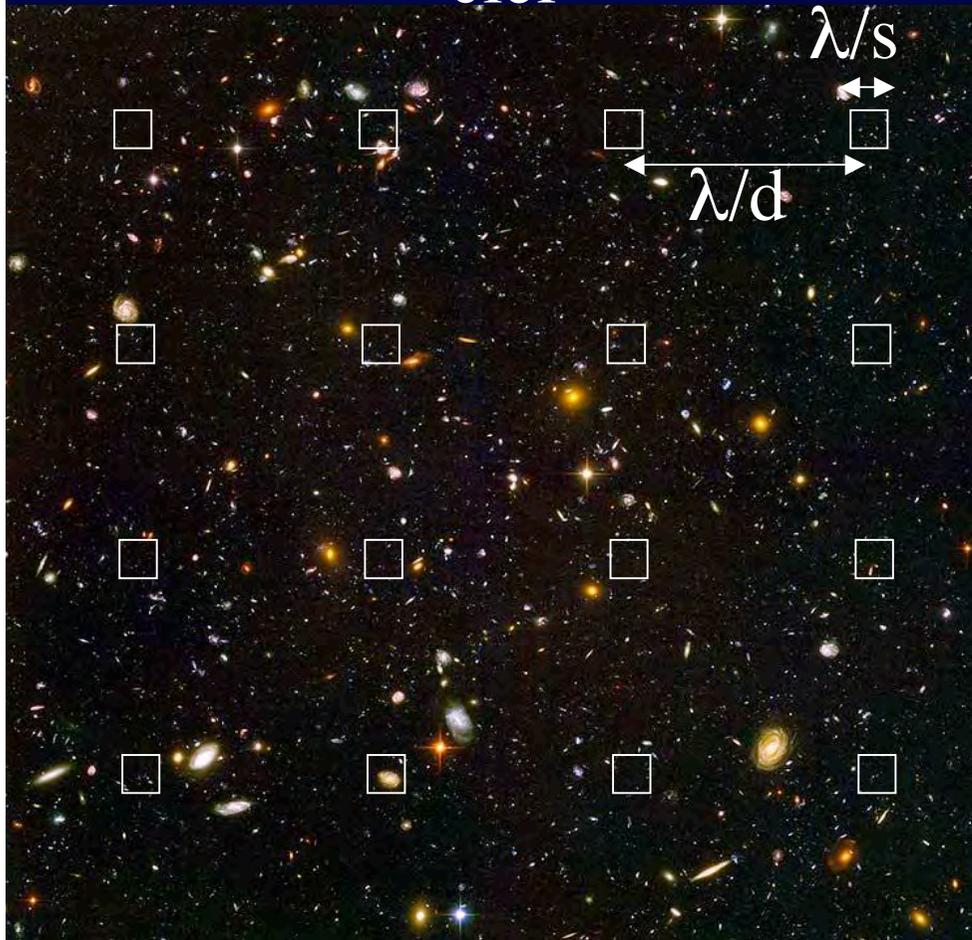
imagerie parallèle et optique adaptative

- Milliers de canaux d'imagerie directe
- Milliers d'étoiles guides simultanées, plus faibles

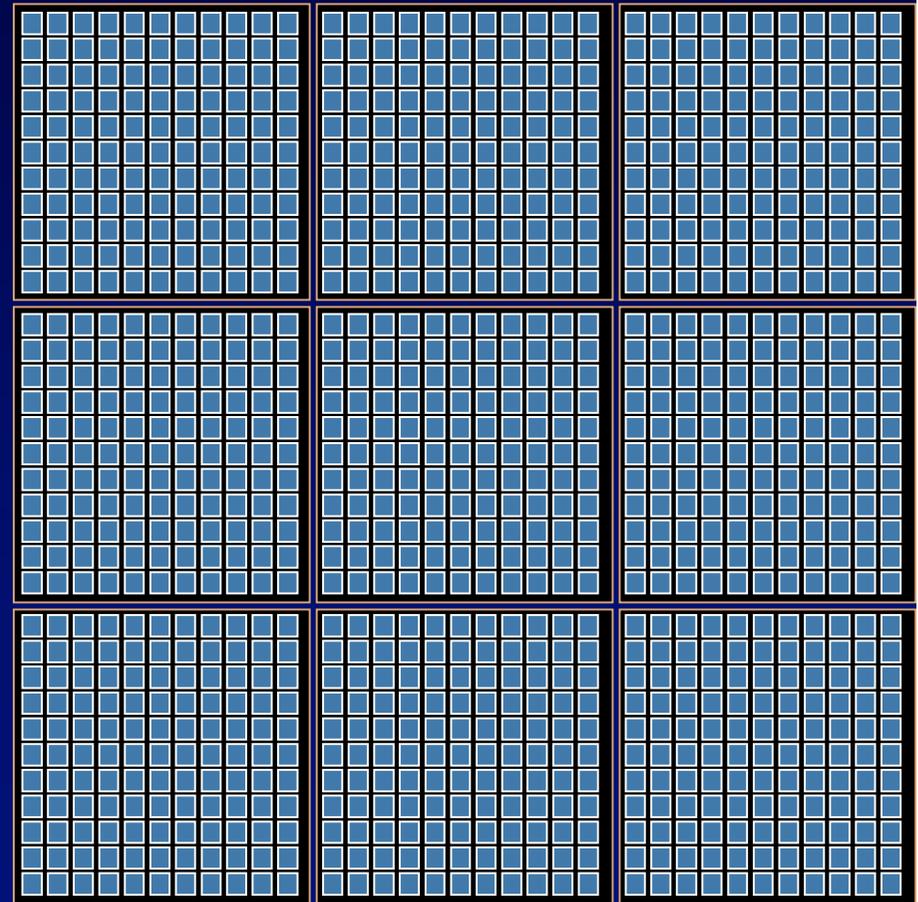


# Mosaïque de champs

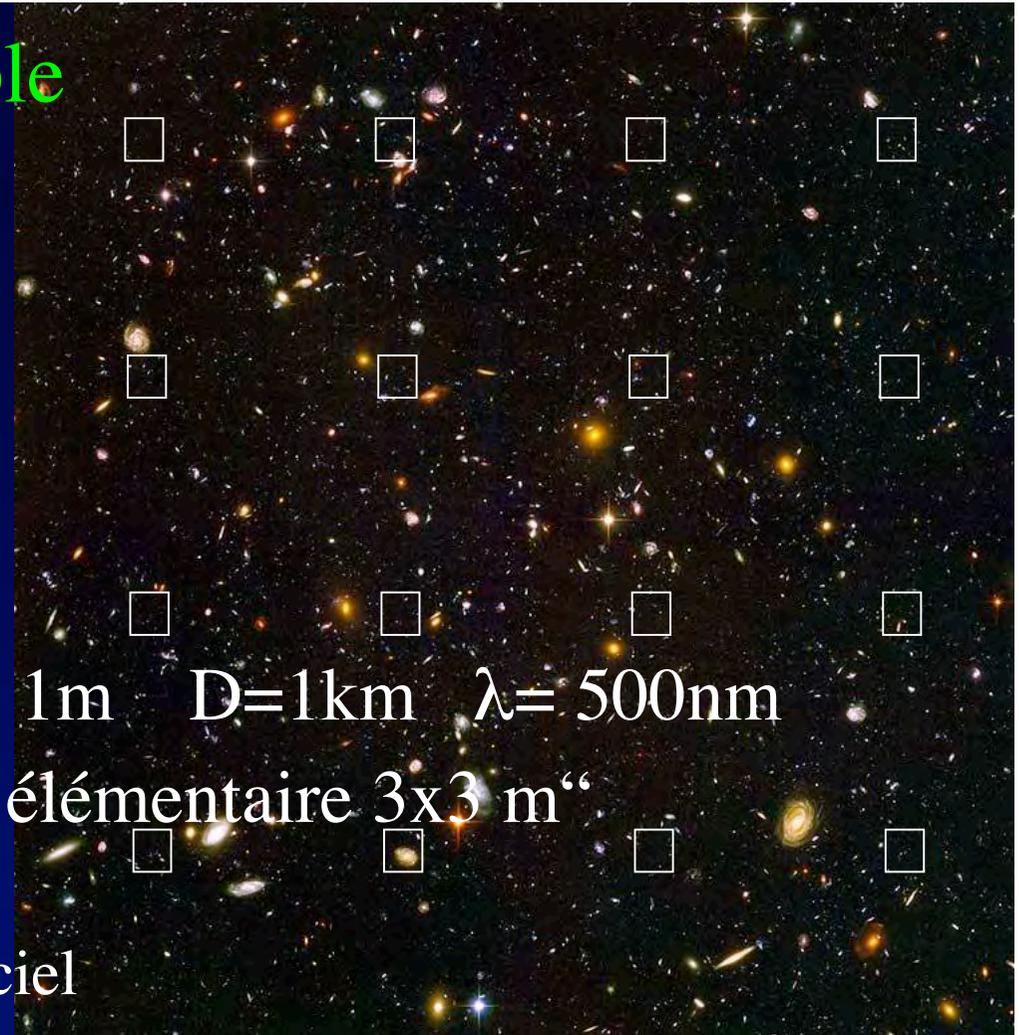
ciel



caméra



## Champ multiple: exemple



- Avec 1000 ouvertures,  $d=1\text{m}$   $D=1\text{km}$   $\lambda=500\text{nm}$
- Résolution  $0,1\text{ m}''$  , champ élémentaire  $3\times 3\text{ m}''$ 
  - Contenant  $30\times 30$  resels...
  - ... espacés de  $100\text{m}''$  sur le ciel
  - Soit 10 Mresels dans  $10\times 10''$
- champ complet restructurable avec 1000 poses décalées
- Saturation à  $10^8$  étoiles par seconde carrée...
- ....et plus si l'ouverture se déforme ( rotation terrestre)

## Conclusion

- En principe les hypertélescopes peuvent faire mieux que les ELTs...
- ... même pour les champs profonds cosmologiques
- Mais cela exige que :
  - la mise en phase par laser s'avère faisable
  - des sites favorables soient trouvés
  - les défis techniques soient surmontés